

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET



# RUDARSKA MJERENJA

(Knjiga se može kupiti u knjižnici RGN-a  
te u skriptarnici Geodetskog fakulteta.)



Radovan Marjanović Kavanagh

**UDŽBENICI SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**  
**MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS**



**Nakladnik**

Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

**Urednik**

Prof. dr. sc. Radovan Marjanović Kavanagh

**Tehnički urednik**

Prof. dr. sc. Radovan Marjanović Kavanagh

**Recenzenti**

Prof. emeritus dr. sc. Nedjeljko Frančula

Prof. dr. sc. Krešimir Jelić

Prof. dr. sc. Damir Medak

**Tisak**

Multigraf Marketing d.o.o, Zagreb, Maksimirska 50a

Odlukom Senata Sveučilišta u Zagrebu od 12. veljače 2008. godine, odobrava se rukopisu pod naslovom **Rudarska mjerjenja**, autora prof. dr. sc. Radovana Marjanovića Kavanagha, korištenje naziva **sveučilišni udžbenik** (Manualia universitatis studiorum Zagrabiensis).

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem: 667009

ISBN 978-953-6923-12-0

**Radovan Marjanović Kavanagh**

# **RUDARSKA MJERENJA**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**



**RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET**



**Zagreb, 2008.**

**Autor:**

**Prof. dr. sc. Radovan Marjanović Kavanagh, dipl. inž. Geod.**

**Zavod za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja,  
RGN fakultet Zagreb**

Objavljivanje ovog udžbenika financijski su potpomogli:

**Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske,  
Državna geodetska uprava,  
Zaklada Geofoto,  
Geoteha,  
Geodetski zavod Osijek.**

## PREDGOVOR

Knjiga „Rudarska mjerenja“ je nastala kao skup mojih dugogodišnjih predavanja na RGN fakultetu u Zagrebu. U knjizi je obuhvaćen dio (po mojoj ocjeni interesantnih) disciplina koji spada u rudarska mjerenja, ali se kod drugih autora sličnih udžbenika mogu naći ponešto drugačije teme. Za promatrača sa strane sadržaj knjige možda predstavlja čudan konglomerat, jer bi jedan dio sadržaja svakako mogao biti dio npr. mojeg udžbenika iz geodezije, dok bi drugi dijelovi knjige mogli biti u nekom statističkom priručniku, a također jedan dio zadire u strojarstvo ili elektrotehniku. No upravo su po tomu rudarska mjerenja specifična jer su kod njih zastupljene mnoge tehničke discipline. Ako se geodezija smatra multidisciplinarnom (matematika, fizika, elektrotehnika, strojarstvo i dr.), tada to još više vrijedi za rudarska mjerenja.

U novije vrijeme je kod nas jamska eksploatacija izgubila na značenju, ali se principi rudarskih mjerenja svakodnevno primjenjuju u cestogradnji kod izrade tunela. Principi i postupci rudarskih mjerenja postat će još interesantniji ako ili kad se u našem glavnom gradu Zagrebu započne s izgradnjom podzemne željeznice. Kod takvog projekta rudarska će mjerenja zasigurno biti jako zastupljena i važna. Rezultati dosadašnjih analiza potreba grada Zagreba za izgradnjom podzemne željeznice koje su rađene u nekoliko navrata, pokazale su da Zagrebu u ovom trenutku ne treba podzemna željeznica. No primjeri izgradnje podzemnih željeznica iz drugih sredina pokazali su da su to redovito projekti koji se realiziraju kroz vrlo dugi niz godina, a kada je sve „gotovo“, počinje nadogradnja, rekonstrukcija i proširenje. Većina će se složiti s konstatacijom da je promet u užem centru Zagreba već danas zreo za podzemnu željeznicu, pa bi za početak bilo dobro da se započne izgradnja npr. dvije linije zapad – istok, sa stanicama u užem centru (Ilica, Jelačićev trg, Maksimirska....) i druga linija sjever – jug (Gupčeva zvijezda, ispod Gornjeg grada, Savska ulica.....). No dok ovakav projekt zaživi, pokazat će se potreba za postojanjem podzemne željeznice i u drugim dijelovima grada. Stoga se može pretpostaviti da će budući studenti rudarstva biti vrlo traženi specijalisti, a rudarska će mjerenja značajno dobiti na težini.

Siguran sam da će dijelovi ovog udžbenika unatoč naziva u naslovu biti od koristi i za studente geologije ali i drugih usmjerenja.

Koristim priliku da zahvalim svima koji su na bilo koji način doprinjeli da ova knjiga poprimi ovakav oblik, a posebno zahvaljujem recenzentima na korisnim savjetima i trudu. Naročito zahvaljujem Saši Kolaru, mom tehničaru u Zavodu za Geofizička istraživanja i rudarska mjerenja RGN fakulteta, za izradu većine slika.

Zahvaljujem mojoj obitelji na strpljenju i podršci, a ovu knjigu posvećujem mojim sinovima Marcelu i Alexu.

## SADRŽAJ

1.	RUDARSKA MJERENJA	1
2.	PODZEMNA IZMJERA	4
2.1.	Stabilizacija točaka podzemne izmjere	4
2.2.	Jamski, rudarski ili viseći teodolit	6
2.3.	Magnetska mjerenja	7
2.4.	Podzemni poligonski vlak	11
2.5.	Iskolčavanje i davanje smjera u jami	12
2.6.	Iskolčavanje krivina u jami	13
2.7.	Iskolčavanje tunela – proboji	15
3.	POVEZIVANJE PODZEMNIH I NADZEMNIH MJERENJA	18
3.1.	Priključak podzemne osnove kroz portale	18
3.2.	Priključak podzemne osnove kroz uskope i niskope	19
3.3.	Priključak podzemne osnove kroz vertikalna okna	19
3.3.1.	Centrično projiciranje u okno	19
3.3.2.	Ekscentrično projiciranje u okno	20
3.3.3.	Projiciranje u dva odvojena okna - uračunati poligon	24
4.	METODE SNIMANJA PRIMJENOM DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA	26
4.1.	Fotogrametrija jedne snimke	26
5.	ODREĐIVANJE VISINA	28
5.1.	Geometrijski nivelman	28
5.1.1.	Instrumenti – niveliri i pribor za niveliranje	28
5.1.2.	Principi niveliranja	32
5.1.3.	Podjela nivelmana	34
5.1.3.1.	Generalni nivelman i osnovni principi izjednačenja	34
5.1.3.2.	Detaljni nivelman	36
5.2.	Trigonometrijski nivelman	38
5.2.1.	Trigonometrijsko određivanje visina kod kraćih udaljenosti	38
5.2.2.	Trigonometrijsko određivanje visina kod većih udaljenosti	40
5.2.3.	Trigonometrijsko određivanje visina nedostupnih točaka	42
5.3.	Barometrijsko mjerenje visina	43
5.4.	Hidrostatski nivelman	43
5.5.	Mjerenje visina podzemnih prostorija	44

6.	VISINSKI PRIKAZI TERENA	47
6.1.	Prikazivanje visina terena izohipsama	47
7.	RUDARSKE KARTE I PLANOVI	52
7.1.	Vrste rudarskih planova	52
8.	MJERENJE LINEARNIH POMAKA I DEFORMACIJA	57
8.1.	Osnovni principi mjerenja linearnih pomaka i deformacija	57
8.2.	Senzori za mjerenje linearnih pomaka	59
8.2.1.	Elektrooptični tenzometri EOT	61
8.2.2.	Potenciometerski senzor	62
8.2.3.	Princip DCDT i LVDT	63
8.3.	Mjerenje linearnih pomaka i deformacija ekstenzometrima i tiltmetrima	65
8.3.1.	Glavni dijelovi ekstenzometara	68
9.	PRINCIPI FILTRACIJE I PRIPREME REGISTRACIJE KONTINUIRANIH MJERENJA ZA OBRADU I ANALIZU	73
9.1.	Tipovi filtara i njihove karakteristike	73
10.	ANALIZA REGISTRACIJE KONTINUIRANIH MJERENJA	80
11.	ŽIROSKOPI I INERCIJALNI SUSTAVI	89
11.1.	Žiroskopi za orijentaciju (Žiroteodoliti)	89
11.2.	RLG i FOG žiroskopi	91
11.3.	Žiro sustavi za navigaciju INS	94
11.4.	Sile koje djeluju na INS	99
11.5.	Princip određivanja $x$ $y$ $z$ pozicija INS-om	100
11.6.	Poteškoće u primjeni INS-a	103
	BIBLIOGRAFIJA	105
	KAZALO POJMOVA	109



## BIBLIOGRAFIJA

- Altiner, Y. (1999). Analytical Surface Deformation Theory for Detection of the Earth's Crust Movements. Springer-Verlag, Berlin — Heidelberg.
- Baturić, J. (1957). Rudarska mjerenja I. i II. dio. Tehnička knjiga. Zagreb .
- Benčić, D. (1990). Geodetski instrumenti. Školska knjiga. Zagreb.
- Benčić, D., Dusman, F. (1994). Od mjerenja do mjeriteljske informacije — Prikaz i analiza osnovnih pojmova mjerne tehnike. Geodetski list, 2, str. 129-146.
- Benčić, D., Dusman, F. (1995). Pojam i značenje mjerne ponovljivosti i obnovljivosti. Geodetski list, 2, str. 107-120.
- Benčić, D. (1996). Osnovni pojmovi mjerne tehnike u svjetlu međunarodnih normi. Geodetski list, 2, str. 143-153.
- Benčić, D., Dusman, F. (1996). Analiza višestrukih mjerenja. Geodetski list, 3, str. 255-267.
- Benčić, D. (2003). Razvoj novih tehnologija i mjerne tehnike. Geodetski list, 1, str. 29-36.
- Borš-Komponiec, V. I., Navitnij, A. M., Knjiš G. M. (1985). Markšeiderskoe delo. Nedra. Moskva.
- Cimerman, V. (1960). Atlas geodetskih instrumenata. Tehnička knjiga. Zagreb.
- Čeliković, R. (2005). Rudarska mjerenja. Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet. Tuzla.
- Čubranić, N. (1974). Viša geodezija I. dio. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.
- Čubranić, N. (1967). Teorija pogrešaka s računom izjednačenja. Tehnička knjiga. Zagreb.
- Frančula, N. (2000). Kartografske projekcije. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet. Zagreb.
- Frančula, N. (2000). Kartografska generalizacija. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet. Zagreb.
- Frančula, N. (2002). Digitalna kartografija. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet. Zagreb.
- Grgić, I., Kapović, Z., Šabić Grgić, N. (2007). Primjena GPS-a na uspostavi geodetske osnove za potrebe tunelogradnje. Geodetski list 2, str. 113-127.

Grossmann, W. (1962). Vermessungskunde I. Stückvermessung und Nivellieren. Sammlung Göschen Band 468. Walter de Gruyter & Co. Berlin.

Gubbins, D. (2004). Time Series Analysis and Inverse Theory for Geophysicists. University Press, Cambridge.

Hektor, E., Witte, B. (1980). Kontinuierliche Messungen in der Ingenieurgeodäsie. RWTH-Aachen.

Hennecke, F., Müller G., Werner H. (1988). Handbuch Ingenieurvermessung Grundlagen. Veb Verlag für Bauwesen. Berlin.

Horvat, S. (1937). Geodetsko računanje. I. Teoretski dio. Osnove teorije pogrešaka i metode najmanjih kvadrata. Izdanje slušača Tehničkog fakulteta. Zagreb.

Höpke, W. (1980). Fehlerlehre und Ausgleichsrechnung. Walter de Gruyter. New York.

Janković, M. (1982). Inženjerska geodezija I.-III. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.

Kahmen, H. (1980). The estimation of weights of meteorologically influenced measurements. DGK-Reihe B, Heft Nr. 252. str. 29-39.

Kiričenko, A. (1982). Mjerenje deformacija i analiza naprezanja konstrukcija. DGIT, Zagreb.

Kujundžić, B., Nešović, M. (1982). Uputstva za tehničko osmatranje visokih brana. Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. Beograd.

Lehmann, E., Töpfer, F., Zill, W. (1957). Vermessungskunde für Kartographen sowie alle ingenieurtechnischen Mitarbeiter des Karten- und Vermessungswesens. Veb Hermann Haack. Gotha.

Löhr, W., Wohlrab, E. (1958). Markscheidekunde für Bergschulen und für den praktischen Gebrauch. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg.

Macarol, S. (1985). Praktična geodezija. Tehnička knjiga. Zagreb.

Marjanović Kavanagh, R. (1984). Mjerenje deformacija ekstenzometrima i tiltmetrima. Geodetskolist. Zagreb, 1-3, str. 15-24.

Marjanović Kavanagh, R. (1984). Senzori za određivanje linearnih pomaka. Geodetski list. Zagreb, 4-6, str. 107-116.

Marjanović Kavanagh, R. (1984). Principi filtracije i pripreme kontinuiranih mjerenja za obradu i analizu. Geodetski list. Zagreb, 7-9, str. 195-202.

Marjanović Kavanagh, R. (1984). Analiza registracije kontinuiranih mjerenja. Geodetski list. Zagreb 10-12, str. 261-273.

- Marjanović Kavanagh, R. (1985). Povratna veza (feedback) kao sredstvo povećanja lineariteta i mjernog područja senzora za određivanje linearnih pomaka. Geodetski list. Zagreb, 1-3, str. 27-32.
- Marjanović Kavanagh, R. (1995). Praćenje slijeganja kuće u Visokoj ulici 14 nakon raketiranja Gornjega grada u Zagrebu. Geodetski list br.2, Zagreb, str. 127-142.
- Marjanović Kavanagh, R. (2006). Instrumentation for Terrestrial Measurements of Geodynamics and the Main Sources of Disturbance, in The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards, Springer, Dordrecht; str. 209-222.
- Marjanović Kavanagh, R. (2007). Žiroskopi za orijentaciju i inercijalni navigacijski sustavi. Kartografija i geoinformacije. 6, Izvanredni broj; str. 254-271.
- Maznickij, A.S., Sova, V. G. (1979). Markšeidersko-geodezičeskie raboti na mestoroždeniah nefti i gaza. Nedra. Moskva.
- Medak, D., Pribičević, B. (2003). Geodezija u građevinarstvu. V.B.Z., Grafički zavod Hrvatske d.o.o. Zagreb.
- Meixner, H., Bukrinskij, V.A. (1977). Markscheidewesen für Bergbaufachrichtungen. Veb Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig.
- Niebuhr, J. (1980). Physikalische Messtechnik. Band I. Aufnehmer und Anpasser. R. Oldenburg Verlag. München — Wien.
- Niemeier, W. (1989). Zur Auswertung geodätischer Messreihen. AVN. Karlsruhe, Heft 1, str. 41-59.
- Niemczyk, O. (1951). Bergmännisches Vermessungswesen. I-V. Akademie-Verlag. Berlin.
- Ogloblin, D. N., Gerasimenko, G. I., Akimov, A. G., Zorja, M. N., Kozlovskij, G. I., Mirnjij, V. V., Mosiljnjij, S. G., Muzikantov, V. K., Nikoljskij, S. N., Panazov, M. G., Travnik, S. F., Fisenko, G. L., Ševerdin, P. G., Šurjisin, V. I. (1981). Markšeiderskoe delo. Nedra. Moskva.
- Patarić, M. (1982). Rudarska merenja I. deo. Rudarsko-Geološki fakultet Beograd. Beograd.
- Pavlović, V.N. (1949). Rudarska merenja. Naučna knjiga. Beograd.
- Pelzer, H. (Hannover). (1978) Geodätische Überwachung dynamischer Systeme I. II International Symposium on deformation measurements by geodetic methods. FIG. Bonn.
- Pelzer, H. (1980). Meßtechnische Möglichkeiten zur permanenten Überwachung von Bauwerken und Maschinenanlagen. AVN. Karlsruhe, Heft 1, str. 30-40.
- Robinson, A. H. (1960). Elements of Cartography. John Wiley & sons. New York — London.
- Rožić, N. (2007). Računska obrada geodetskih mjerenja. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.

Schnädelbach, K. (1978). Neuere Verfahren zur präzisen Längen- und Höhenmessung. AVN. Karlsruhe, Heft 1, str. 2-21.

Sedlar, J. (1949). Rudarska mjerenja. Nakladni zavod Hrvatske. Zagreb.

Shepherd, F. A. (1983). Engineering Surveying problems and solutions. Edward Arnold Ltd, Thomson Litho Ltd, East Kilbridge. Scotland.

Solarić, N., Špoljarić, D. (2005). Nezavisna astronomska kontrola vanjske geodetske osnove tunela „Mala Kapela“. Geodetski list 1, str. 15-30.

Torge, W. (2001). Geodesy. Walter de Gruyter. New York.

Uhlich, P. (1901). Lehrbuch der Markscheidekunde. Craz & Gerlach (Joh. Stettner) Freiberg.

Uhren, J. (1984). Calculations for Engineering Surveys. Van Nostrand Reinhold (UK) Co. Ltd. Molly Millars Lane, Workingham, Berkshire. England.

Wellmer, F.-W. (1998). Statistical Evaluations in Exploration for Mineral Deposits, Springer-Verlag Berlin — Heidelberg — New York.

Wermeister, P. (1943). Lexikon der Vermessungskunde. Herbert Wichmann, Verlag, Berlin-Guenewald.

Werkmeister, P. (1949). Vermessungskunde II. Sammlung Göschen, Band 469. Walter de Gruyter & Co. Berlin.

Werkmeister, P. (1949). Vermessungskunde III. Sammlung Göschen, Band 862. Walter de Gruyter & Co. Berlin

Wilski, P. (1929). Lehrbuch der Markscheidekunde. Erster und zweiter Teil. Verlag von Julius Springer, Berlin.

## KAZALO POJMOVA

- A     analogno-digitalni pretvarači 60
- B     barometrijsko mjerenje visina 43
- D     deklinacija —  
          magnetska 7,8,  
digitalizacija registracije 86  
digitalna registracija 60  
digitalni —  
          prikaz 56  
          signali 69  
dozvoljeno odstupanje 34  
durbin 2, 23, 28, 29
- E     elipsoid 28, 59, 97, 99, 100, 102  
ekstenzometar 1, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72
- F     filar —  
          aktivni 76, 77  
          koeficijenti f. 77  
          kalmannov 104  
          niskopropusni 75, 76  
          numerički 78, 79  
          pasivni 76, 77  
          pojasni propusni 76  
          pojasni nepropusni 76  
          tipovi f. 73  
          visokopropusni 75,76
- G     GNSS — Globalni Navigacijski Satelitski Sustav 1, 2, 18, 57, 58, 59, 104
- H     hidrostatski nivelman 43
- I     iskolčavanje —  
          krivina 13, 14  
          proboja 15  
          smjera 12  
          tunela 15  
          točaka 7  
izjednačenje 36  
izohipse 47, 48, 49, 50, 51, 52
- J     jamski —

otvori 52  
poligon 10  
radovi 2, 3, 52, 54  
teodolit 6

- K     kartezijski sustav 67, 94  
      kompas 2, 8, 9, 10  
      kontinuirana — registracija 97  
          funkcija 73, 82  
          registracija 74, 80  
      kontinuirano —  
          iscrtavanje izohipsa 47  
          mjerenje 73, 74  
          održavanje platforme 96
- L     laser 13, 19, 25, 27, 31, 32, 42  
      laserski —  
          ekstenzometar 67, 71, 72  
          žiroskop 91, 92, 93, 94
- M     mjerenje udaljenosti 2, 18, 20, 21, 23
- N     nivelman 1, 3, 28, 34, 47  
      nivelman —  
          barometrijski (mjerenje visina) 43  
          detaljni 34, 36  
          generalni 34, 36  
          geometrijski 28, 32, 33, 39, 44, 47  
          hidrostatski 43  
          plošni 36, 37  
          podjela 34  
          precizni 29, 35  
          profila 36, 37  
          trigonometrijski 3, 38, 41, 44, 45, 47  
          -ska mreža 3, 28, 36, 57  
          -ska osnova 44  
          -ska papuča 33  
          -ske letve 3, 30, 31, 32, 33, 35, 44, 45  
          -ski reper 33, 34, 35, 36, 43, 45  
          -ski vlak 3, 28, 33, 35, 36  
          -ske strane 35, 43  
          -ske točke 52
- O     određivanje smjera 21, 22, 24, 90, 91, 94  
      odstupanje 16, 48, 80, 95  
      odstupanje —  
          dozvoljeno 11, 12, 16, 33  
          kod mjernog mosta 63  
          kutova 12

- linearno 12, 25
- mjerno 20, 35, 69, 93, 98
- od pravca 60
- osi nivelira 32
- platforme 98
- poprečno 16, 17
- slučajna 80
- smjera 3, 22, 25
- standardno 16
- ukupno (proboja) 17
- ukupno (INS-a) 98, 104
- uzdužno 17
- visinske razlike 36

P     podzemna —

- izmjera 4, 17, 18
- mjerjenja 11, 17, 18, 42
- osnova 11, 19, 23, 25
- točka 4, 11
- željeznica 25

podzemne —

- prostorije 15, 18, 27, 44

podzemni —

- centar
- poligonski vlak 11, 12, 17, 24
- radovi 11, 25

poligonska —

- točka 21

poligonski vlak —

- magnetski 10
- podzemni-jamski 11, 17, 18, 19, 24, 25

površina 13, 20, 25, 45, 58

površina —

- ispod p. 105
- mirnog mora 28
- mjerena p. 61
- otkopana p. 55
- profila 26
- slijeganje p. 57
- refleksija od p. 58

projiciranje —

- u jedno okno 19
- u dva okna 19, 24
- centrično 19
- ekscentrično 24

R     registracija —

- analogna 60, 85, 86

digitalna 60

- S    smjer —  
        određivanje 21, 22, 24, 90, 91, 94  
        orijentacija 2, 3, 5, 25, 90  
smjerni kut 14, 20, 24, 25  
snimanje —  
        detaljno 34  
        fotogrametrijsko 58  
        karakteristika filtra 77  
        kinematičko 89  
        nivelmanskih profila  
        opetovano 58  
        os (snimanja) 27  
        plošnim nivelmanom 37  
        podzemnih prostorija 3  
        profila 49  
        razbacanim točkama 37  
        točaka 4  
stabilizacija —  
        točaka 4  
        žiroskopa 94
- T    tenzor deformacije 67  
      tiltmetar 71
- U    uračunati poligon 19, 24
- V    visine 22, 23, 26, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 57, 59, 99, 100
- Ž    žica —  
        ekstenzometra 70, 87  
        otporna 62  
        viskova 19, 23